

Espetro Solar e Manchas Solares

Alexandre Costa, Beatriz García, Ricardo Moreno

***União Astronómica Internacional
Agrupamento de Escolas João de Deus, Portugal
ITeDA e Universidade Tecnológica Nacional, Argentina
Colégio Retamar de Madrid, Espanha***



Objetivos

- Compreender o que é o espectro do Sol.
- Compreender porque existe o espectro do Sol.
- Compreender o que são as manchas solares.
- Compreender a importância histórica do trabalho de Galileu sobre as manchas solares.



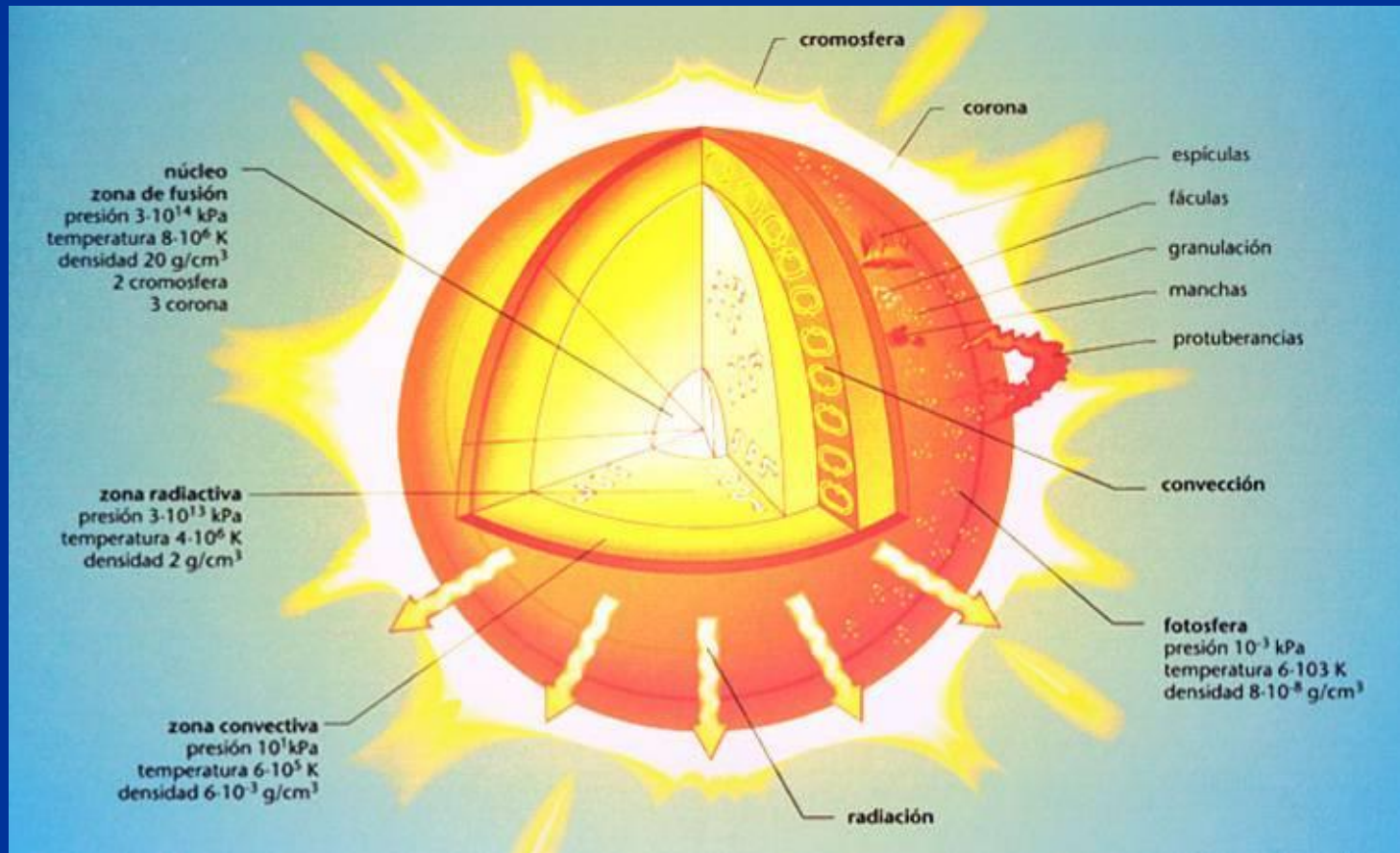
A Radiação Solar

Toda a energia (luz, calor) que usamos chega-nos, em primeira instância, do Sol.



A Radiação Solar

Esta radiação é criada no núcleo, a 15 milhões de graus e a uma pressão altíssima. É produzida a partir de reações nucleares de fusão.



A Radiação Solar

- 4 prótons (núcleos de H) fundem-se dando origem a um átomo de Hélio (fusão).



- A massa resultante é menor que a dos 4 prótons iniciais, sendo a diferença transformada em energia:

$$E = m c^2$$

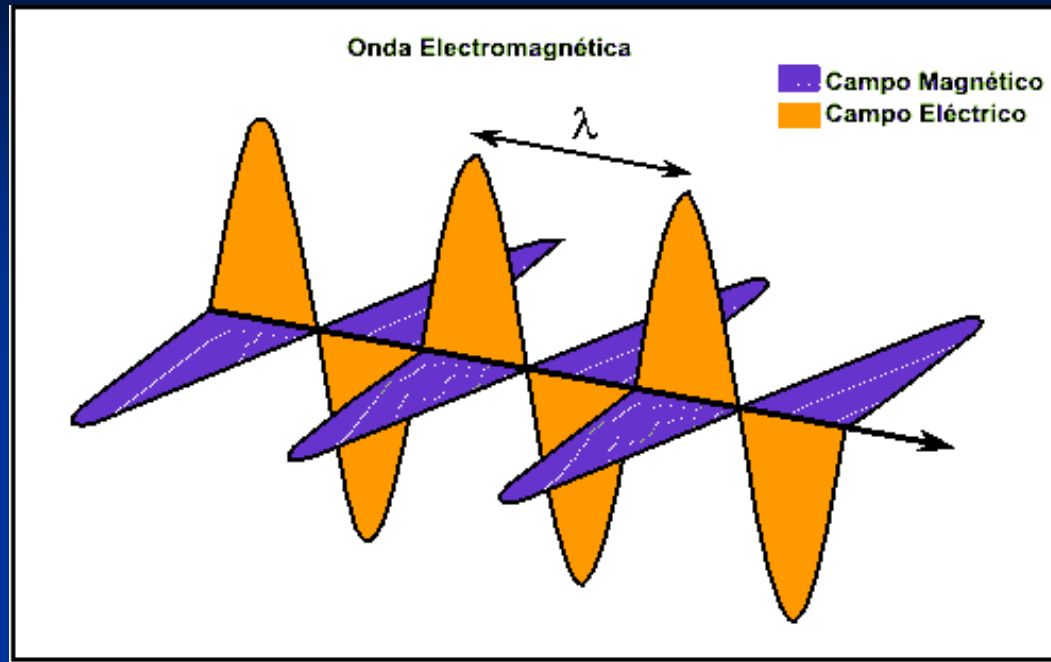
- A cada segundo, 600 milhões de toneladas de H transformam-se em 595,5 milhões de toneladas de He, sendo a massa restante convertida em energia.
- O Sol tem tanta massa que, gastando-a a esse ritmo, durará milhares de milhões de anos.

A Radiação Solar

Esta energia é transportada a uma velocidade de 299 793 km/s. Demora 8 minutos a chegar à Terra.



Espetro Solar: Radiação

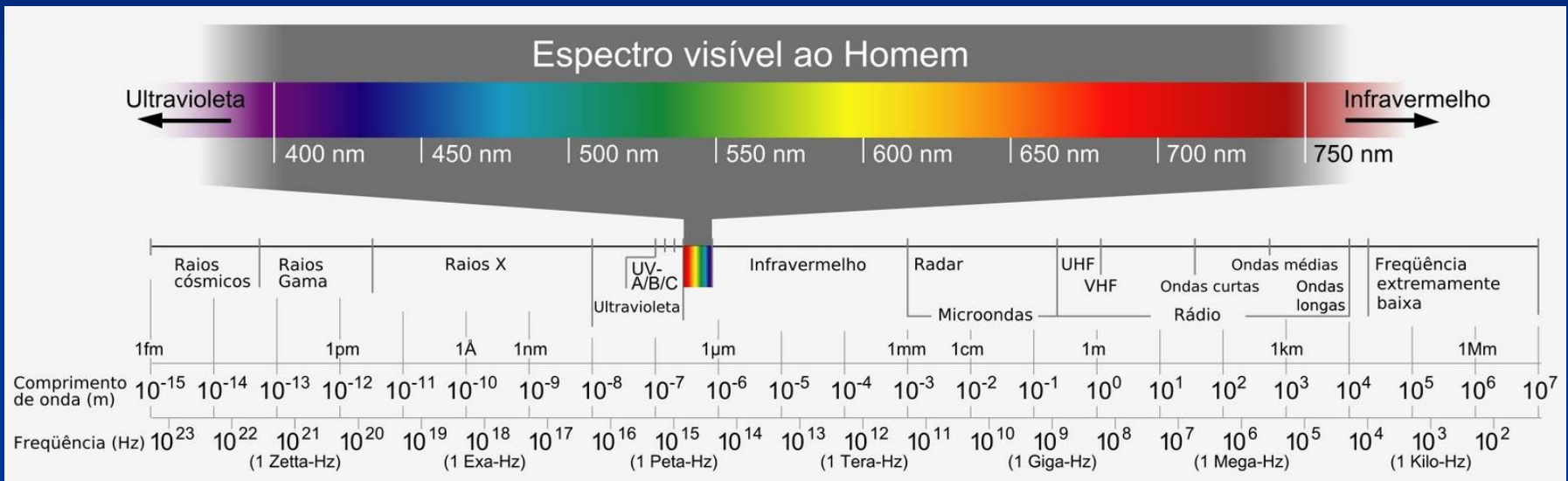


O comprimento de onda λ , a frequência ν e a velocidade de propagação c , das ondas eletromagnéticas, estão relacionadas através da equação:

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Espetro Solar: Radiação

Espetro eletromagnético



Gama



Raios X



Visível



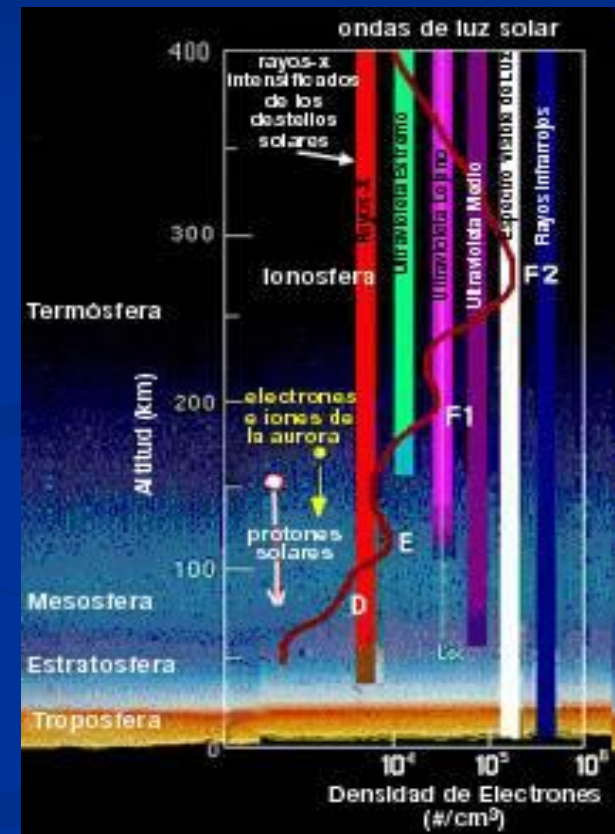
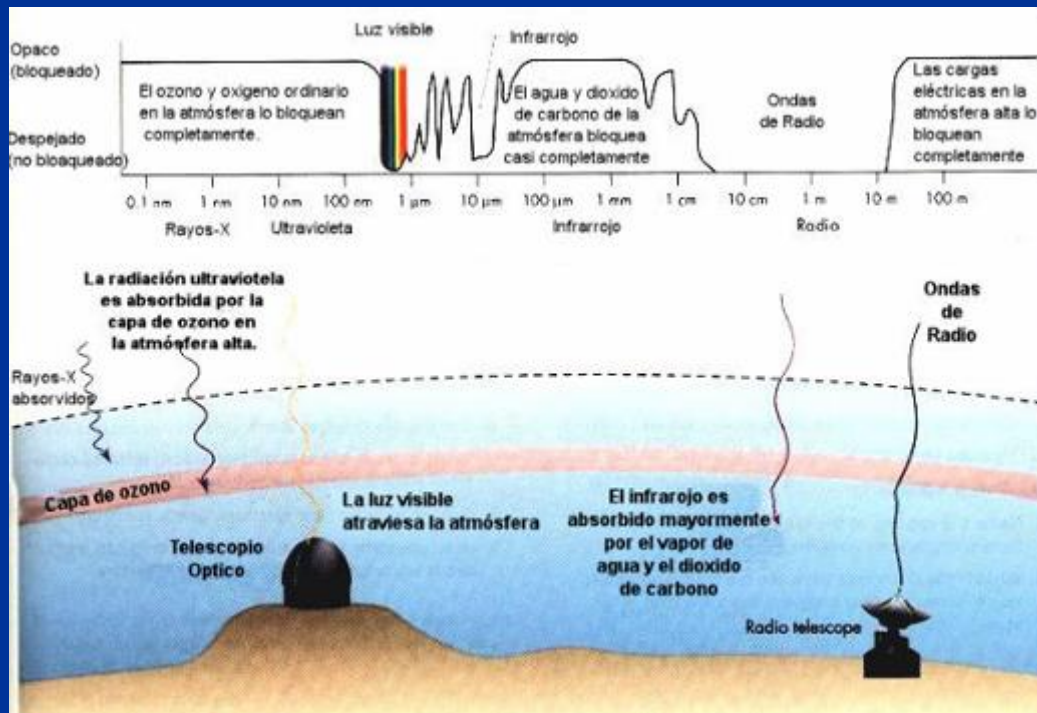
Infravermelho



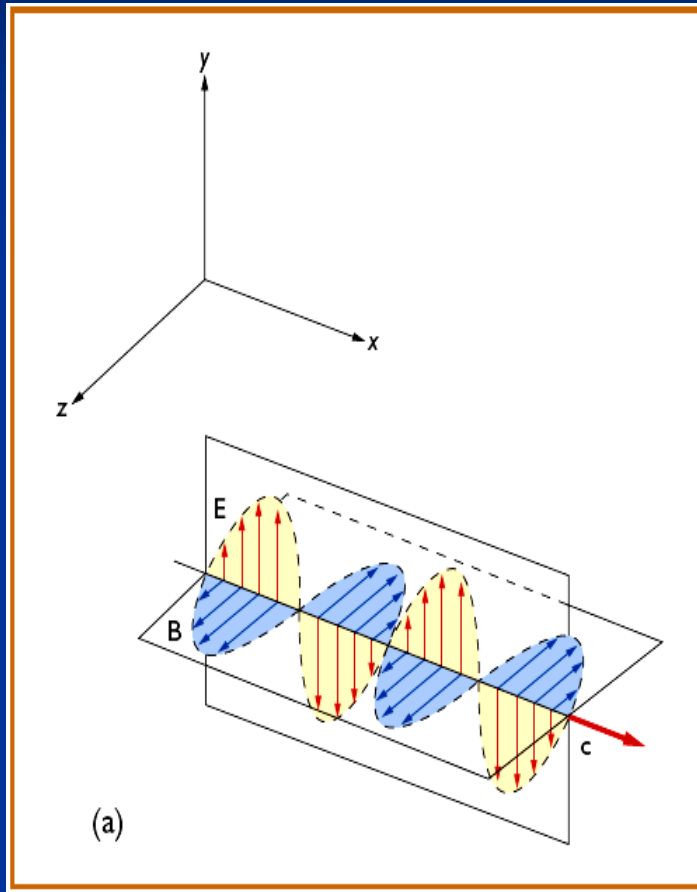
Rádio

Espetro Solar: Radiação

A atmosfera terrestre é opaca à maioria das radiações.



Radiação Solar: Polarização

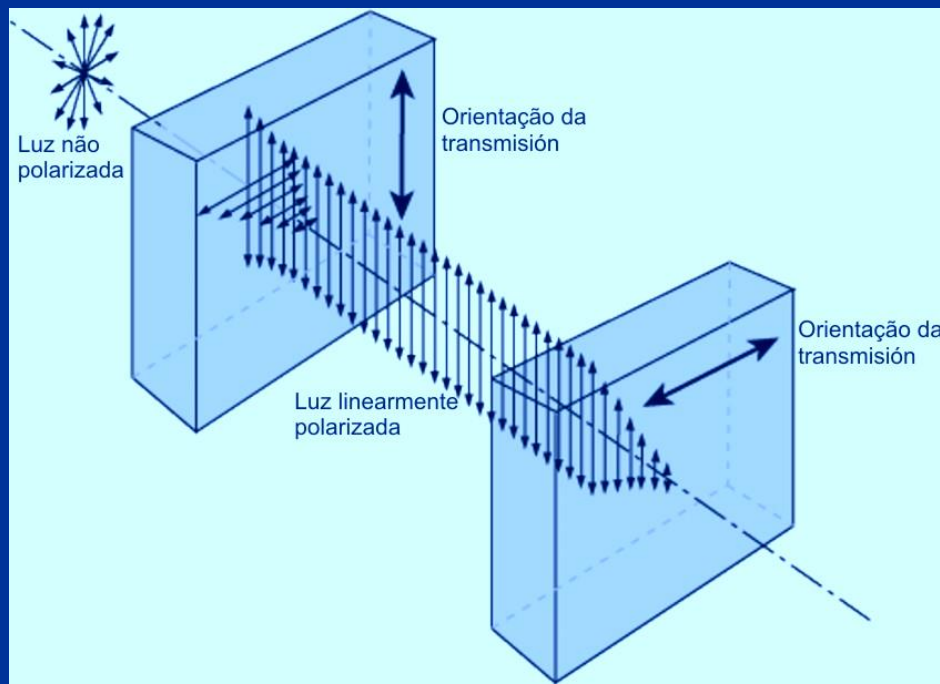


- A radiação eletromagnética ideal tem um perfil como o da figura.
- Há uma única direção de vibração para cada um dos campos elétrico e magnético.
- Diz-se que a radiação está linearmente polarizada.
- A luz do Sol não tem nenhuma direção de vibração privilegiada.

Radiação Solar: Polarização

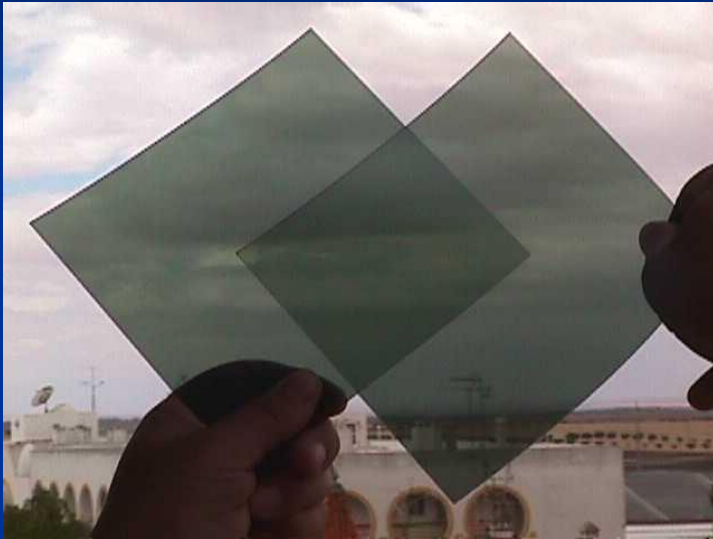
A luz solar pode ser polarizada:

- Por reflexão.
- Fazendo-a passar por um filtro Polaroid.

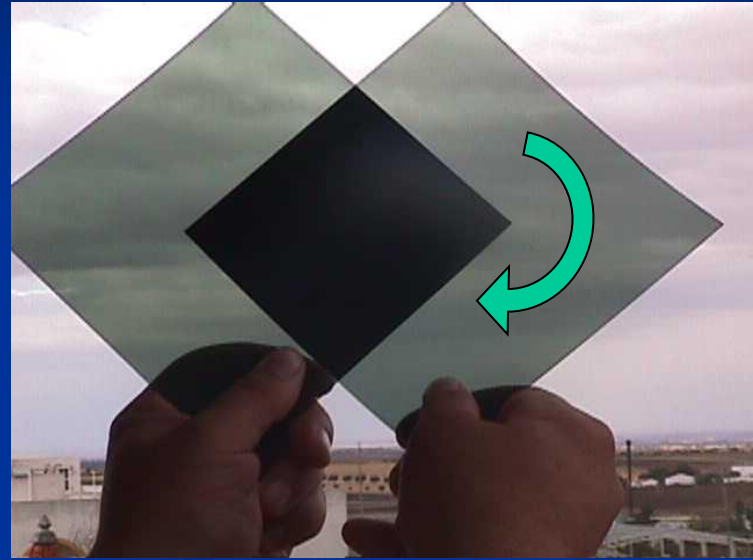


Quando dois filtros Polaroid têm as orientações de polarização paralelas, a luz passa através deles. Se as direções forem perpendiculares, a luz que passa pelo primeiro filtro fica bloqueada pelo segundo, pelo que não passa nenhuma luz.

Atividade 1: Polarização do Espectro Solar



Se os filtros tiverem a mesma orientação, a luz passa.

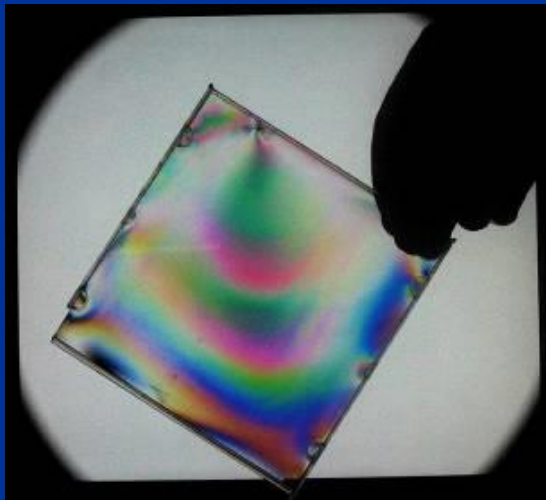


Se um dos filtros for girado 90° , a luz será bloqueada.

Atividade 1: Polarização do Espectro Solar

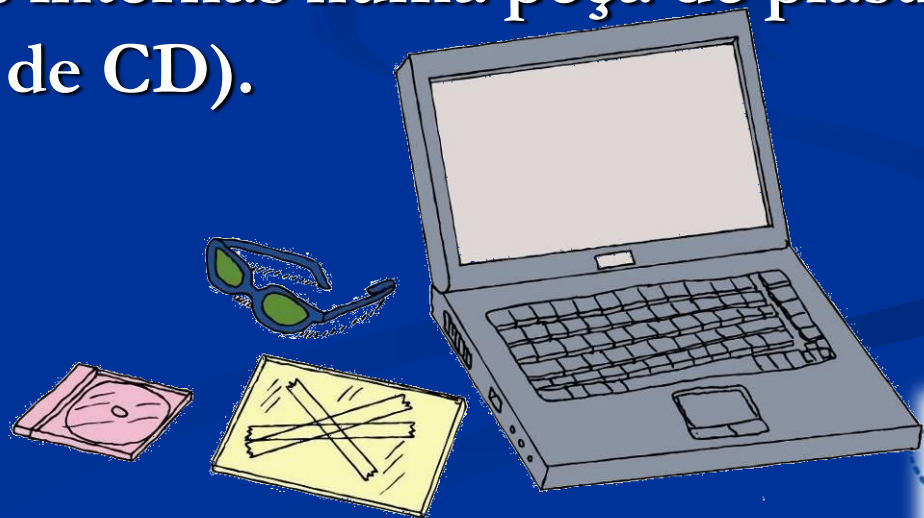


- Também se pode polarizar a luz por reflexão.
- Os óculos de sol polarizados, evitam reflexos.
- A polarização usa-se em fotografia, e em engenharia, para ver tensões internas em materiais.

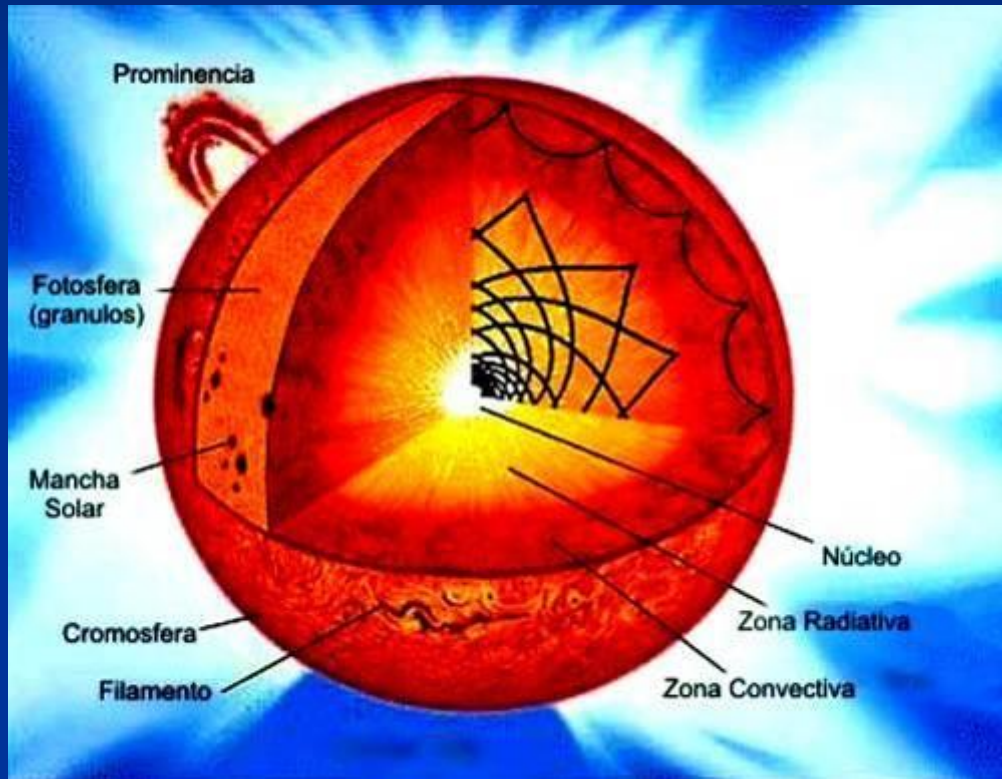


Atividade 2: Polarização da luz

- O ecrã de cristal líquido de um computador portátil emite luz polarizada.
- Observar o plano de polarização com óculos de sol polarizados.
- Alguns objetos giram o plano de polarização: fita cola sobre vidro.
- Observar as tensões internas numa peça de plástico transparente (caixa de CD).

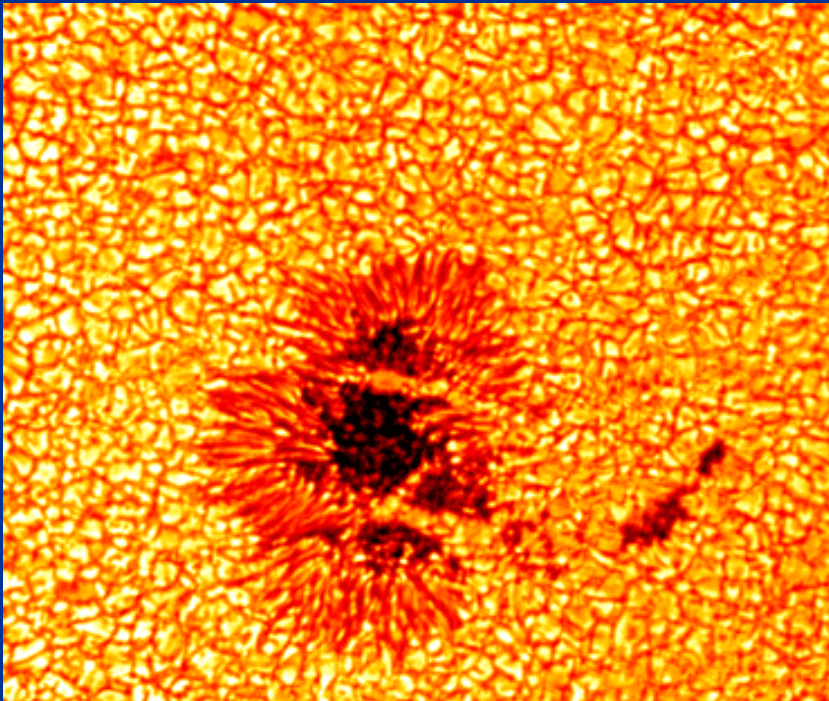


A estrutura do Sol



- Núcleo:
15 milhões de K.
- Zona radiativa:
8 milhões de K.
- Zona convectiva:
500 000 K.
- Há convecção
(movimento de
matéria).

A estrutura do Sol



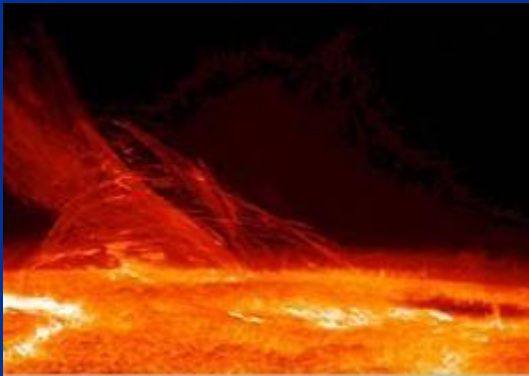
- Fotosfera:
Com uma temperatura
 $6\,400 - 4\,200\text{ K}$, é a
“superfície” do Sol.

Tem granulação de
 $\sim 1\,000\text{ km}$.

A estrutura do Sol



- Cromosfera: “pradaria ardente”, de 4 200 a 1×10^6 K. Tem proeminências, (protuberâncias) e emissões de massa.

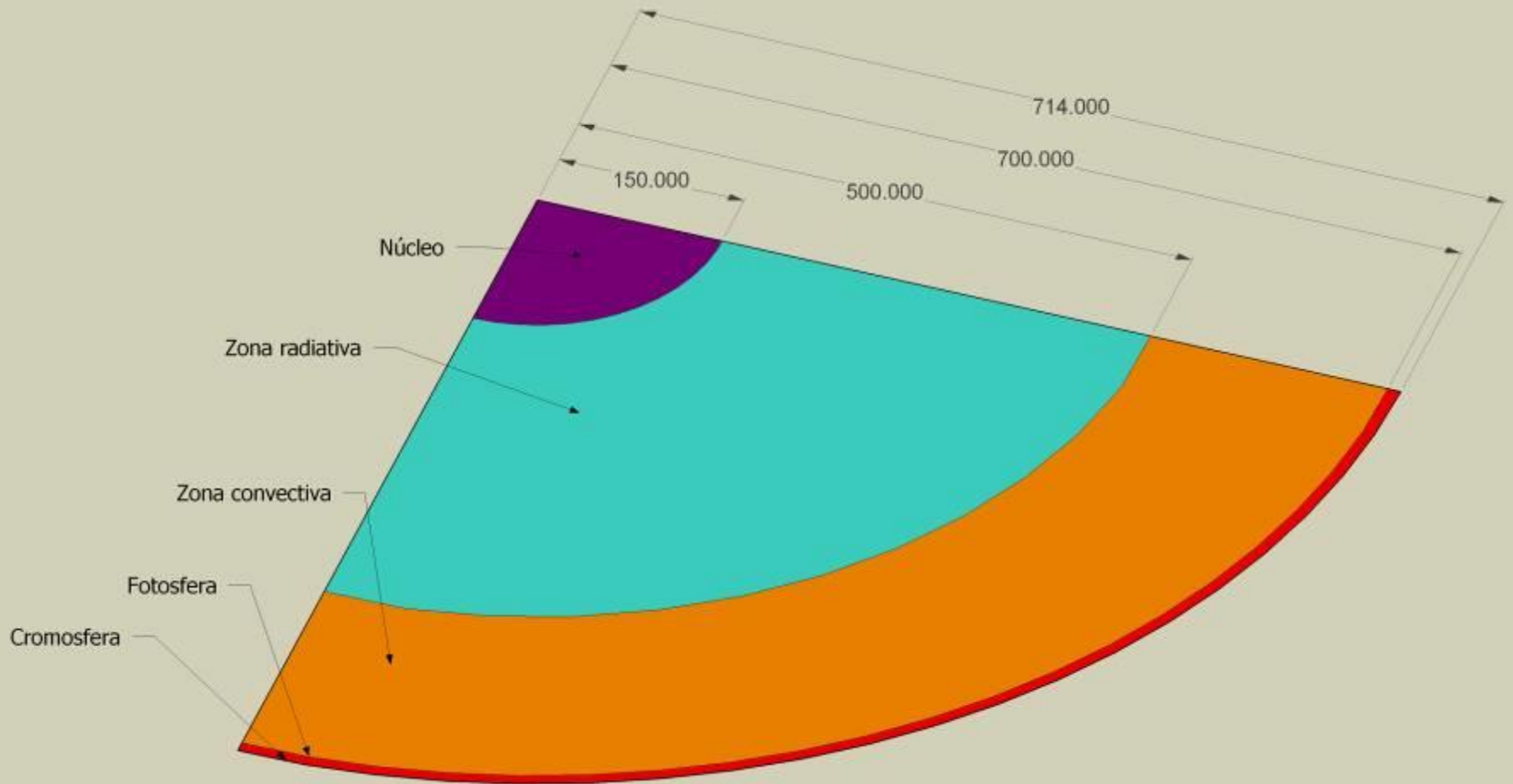


A estrutura do Sol

- Coroa: vento solar, 1×10^6 a 2×10^6 K.
- Só se vê nos eclipses.



A estrutura do Sol

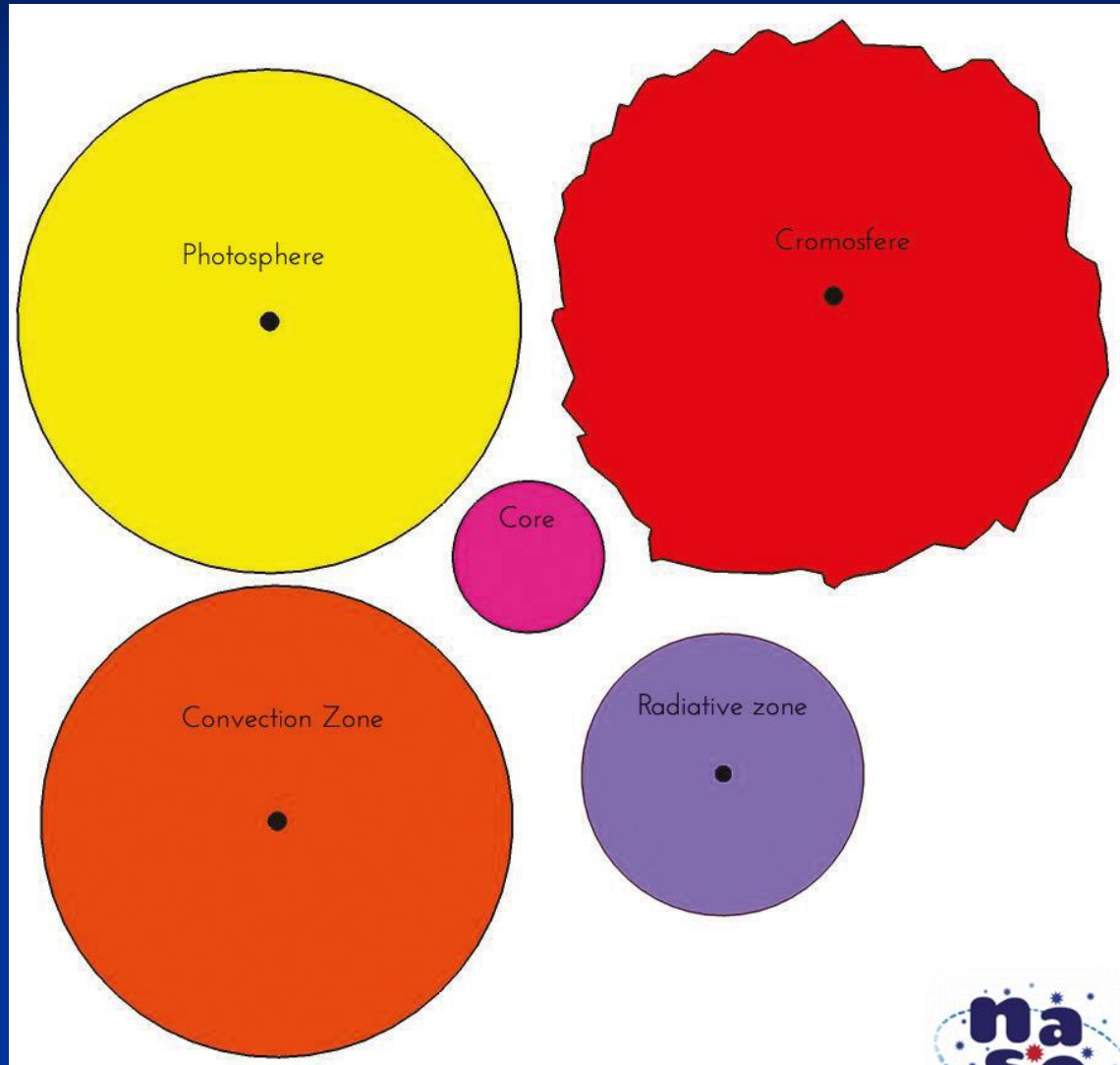


Atividade 3: Estrutura Solar

Faça um modelo simples das camadas do sol.

O objetivo é cortar as diferentes formas.

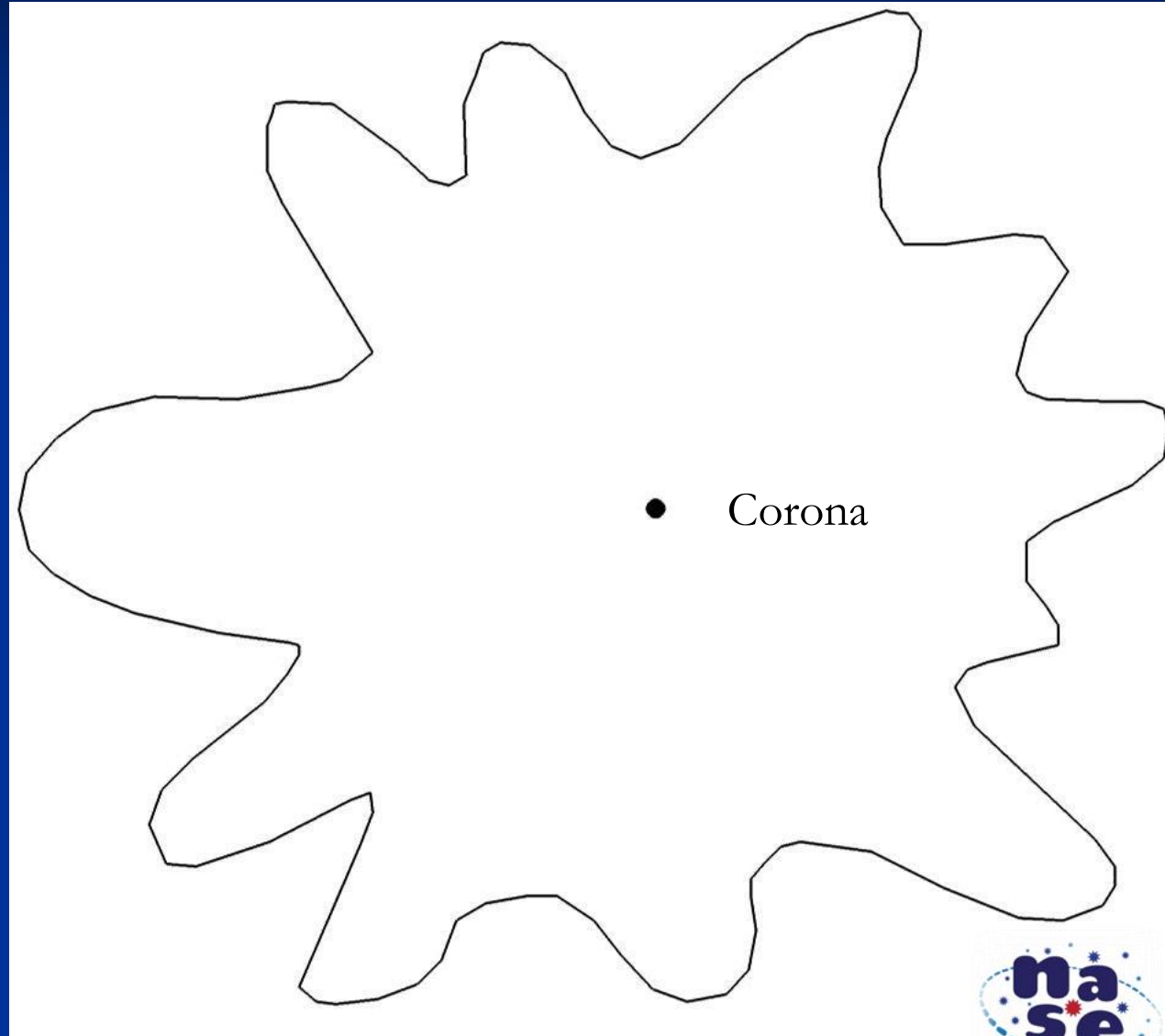
Eles podem ser cortados de diferentes pedaços coloridos de papel ou pintados.



Atividade 3: Estrutura Solar

A Corona pode ser feita de filme OHP.

Finalmente, você pode colar um acima do outro na ordem correta.



Atividade 3: Estrutura Solar

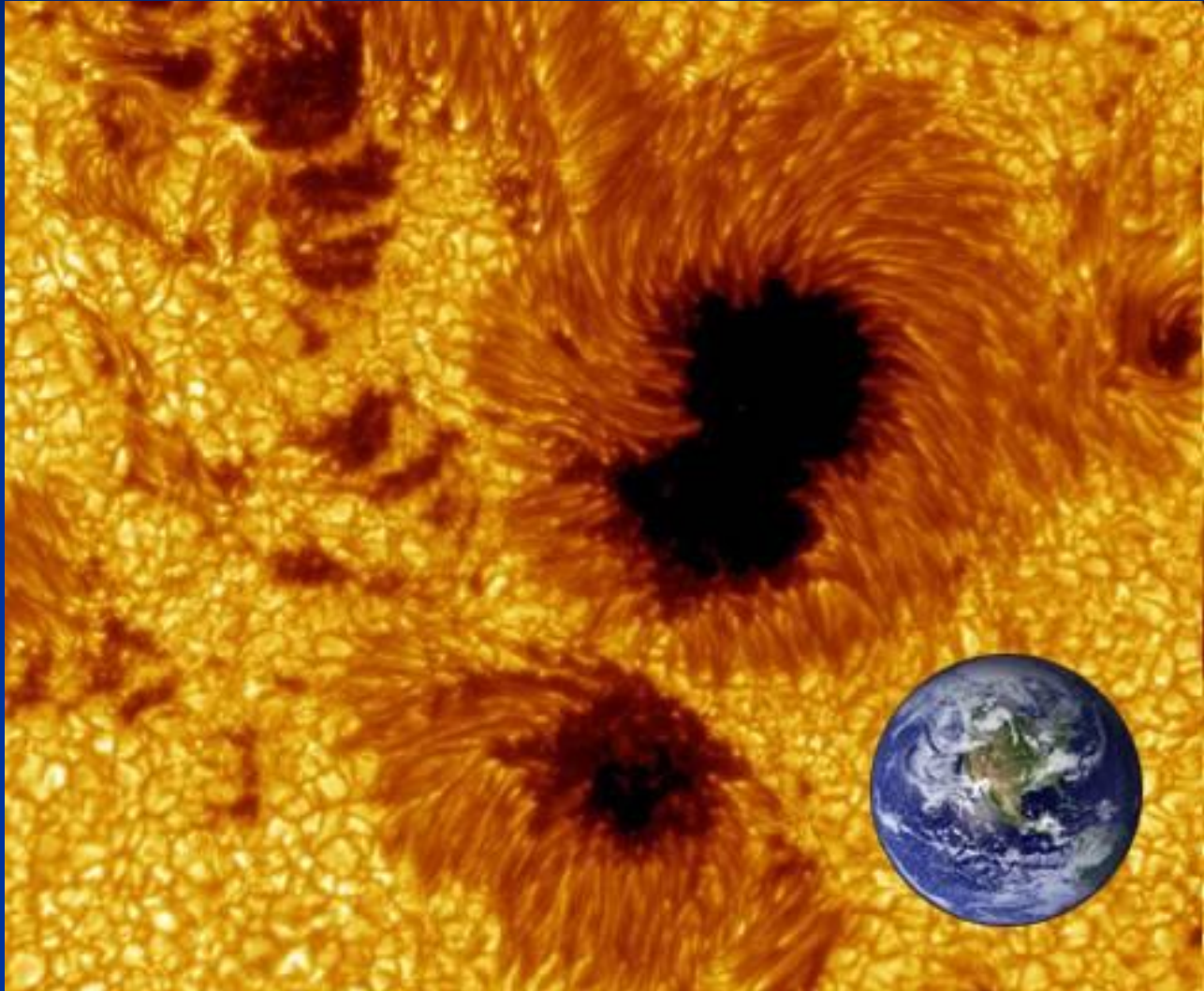


Manchas Solares

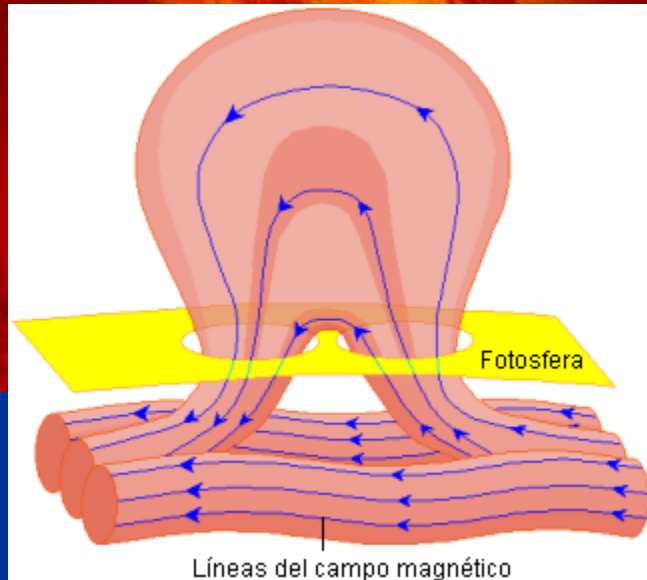
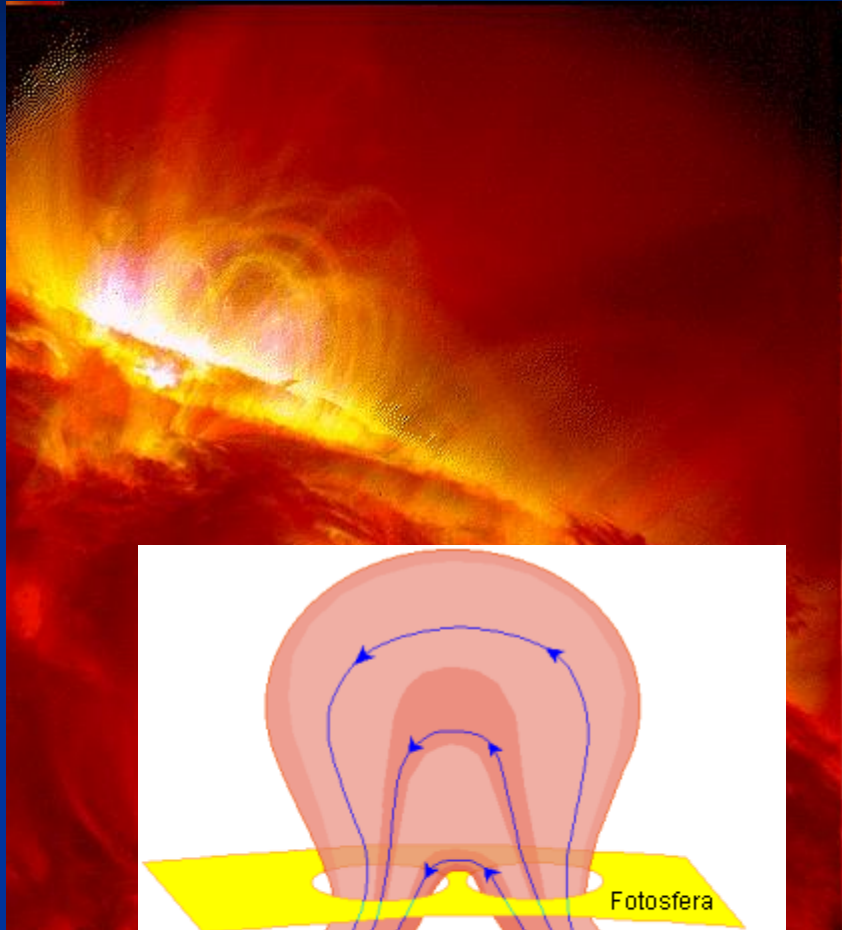
- Manchas escuras na fotosfera, a 4 200 K (inferior aos 6 000 K).
- Zonas: Umbra (central) e Penumbra.



Manchas Solares

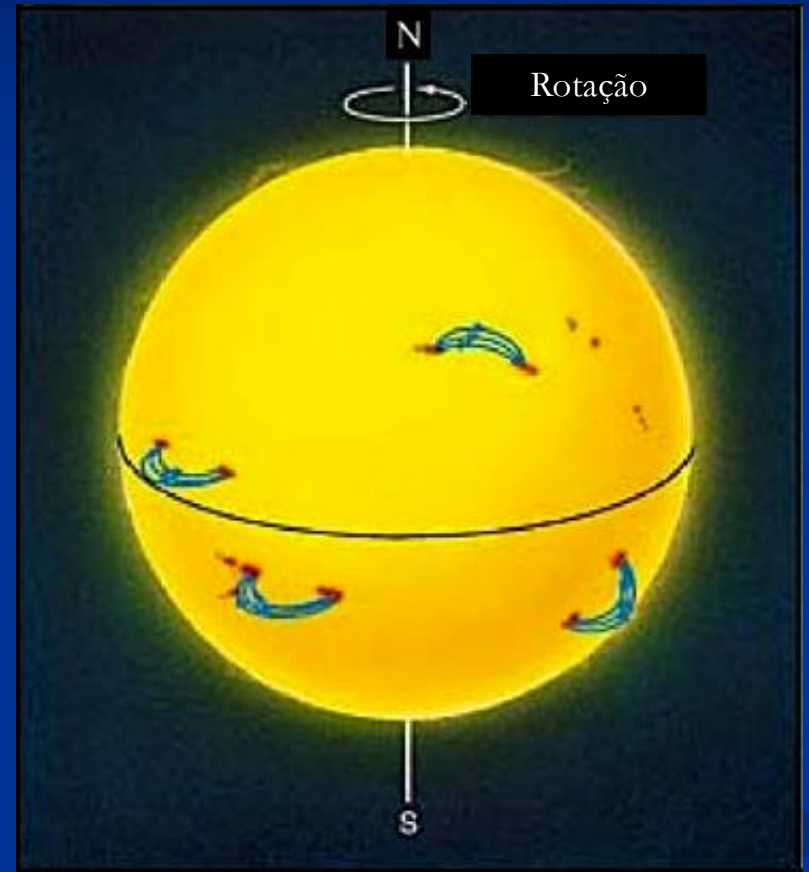
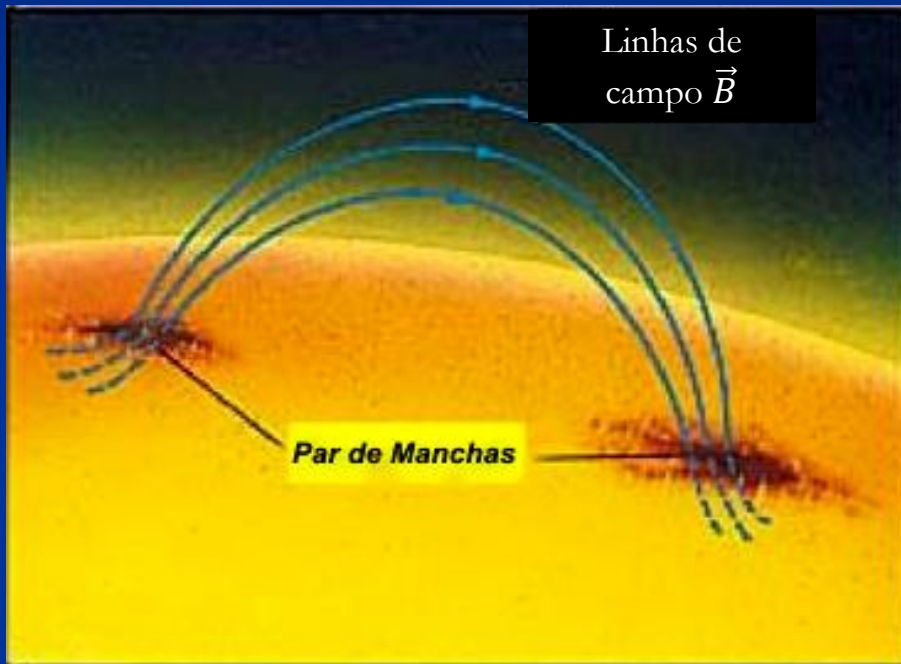


Manchas Solares



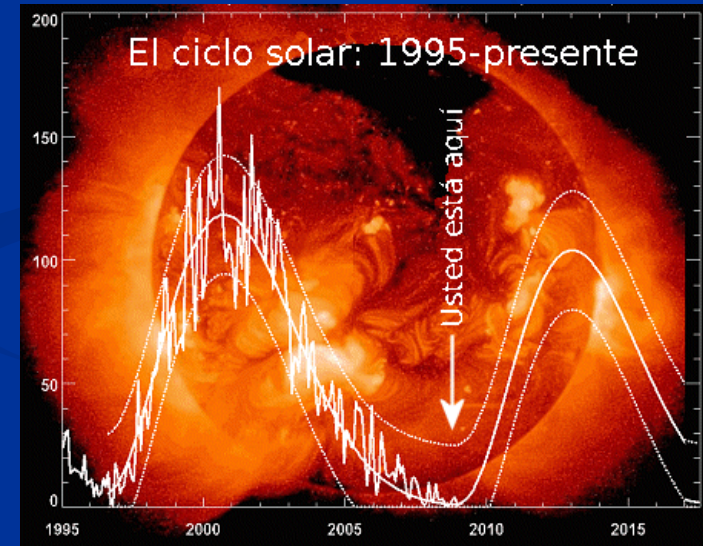
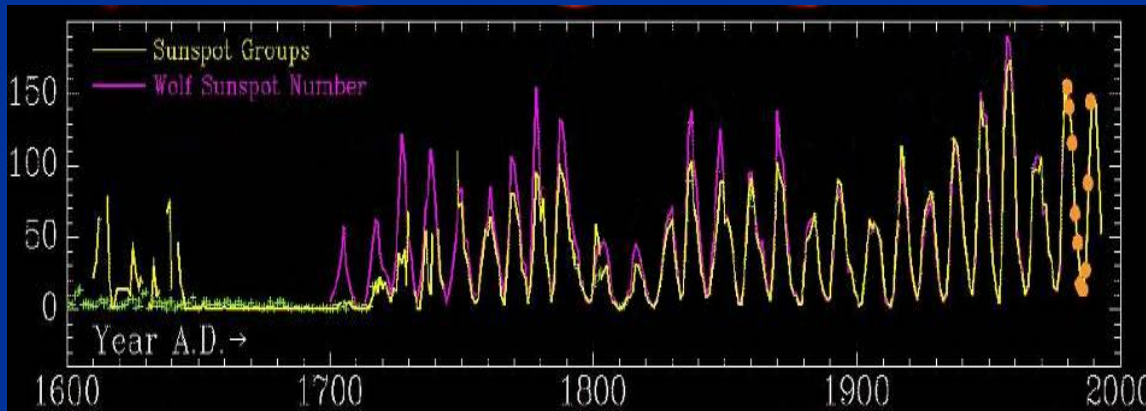
- Têm fortes campos magnéticos associados.
- São produzidas pelo afloramento das linhas de campo magnético, em forma de laço, que sobem desde o interior.

Manchas Solares



Manchas Solares

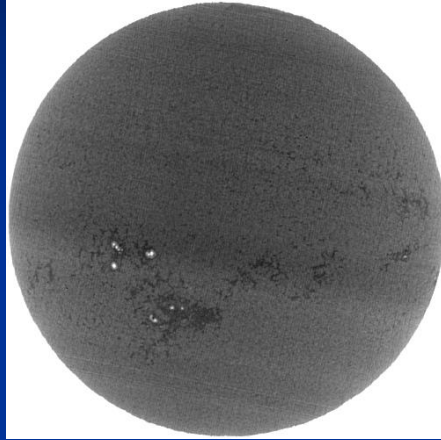
- O número de manchas indica a “atividade solar”.
- $N^{\circ} \text{ de Wolf} = 10 \times G + F$
(G = grupos; F = n° total de manchas)
- Tem um ciclo de 11 anos.



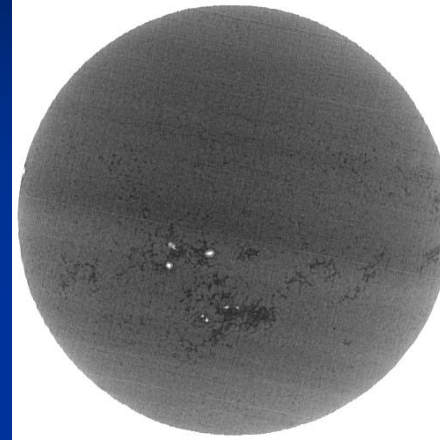
No ano de 2008 houve um mínimo que se prolongou mais que o normal.

Manchas Solares: Rotação Solar

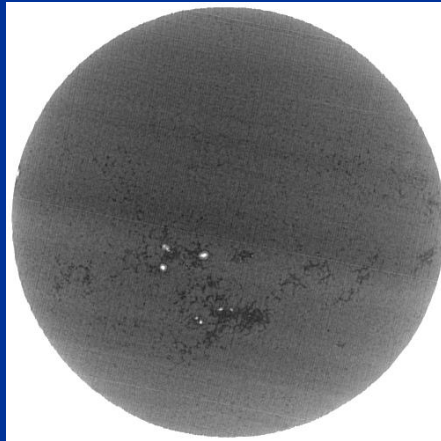
21 de novembro de 1992



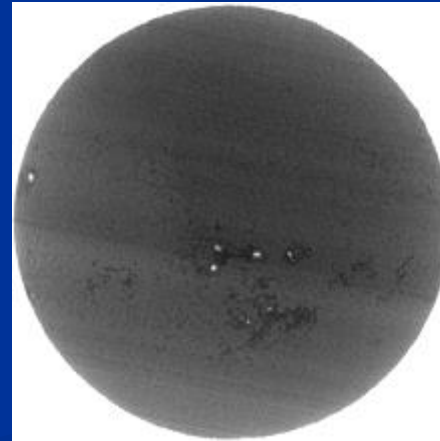
22 de novembro de 1992



23 de novembro de 1992



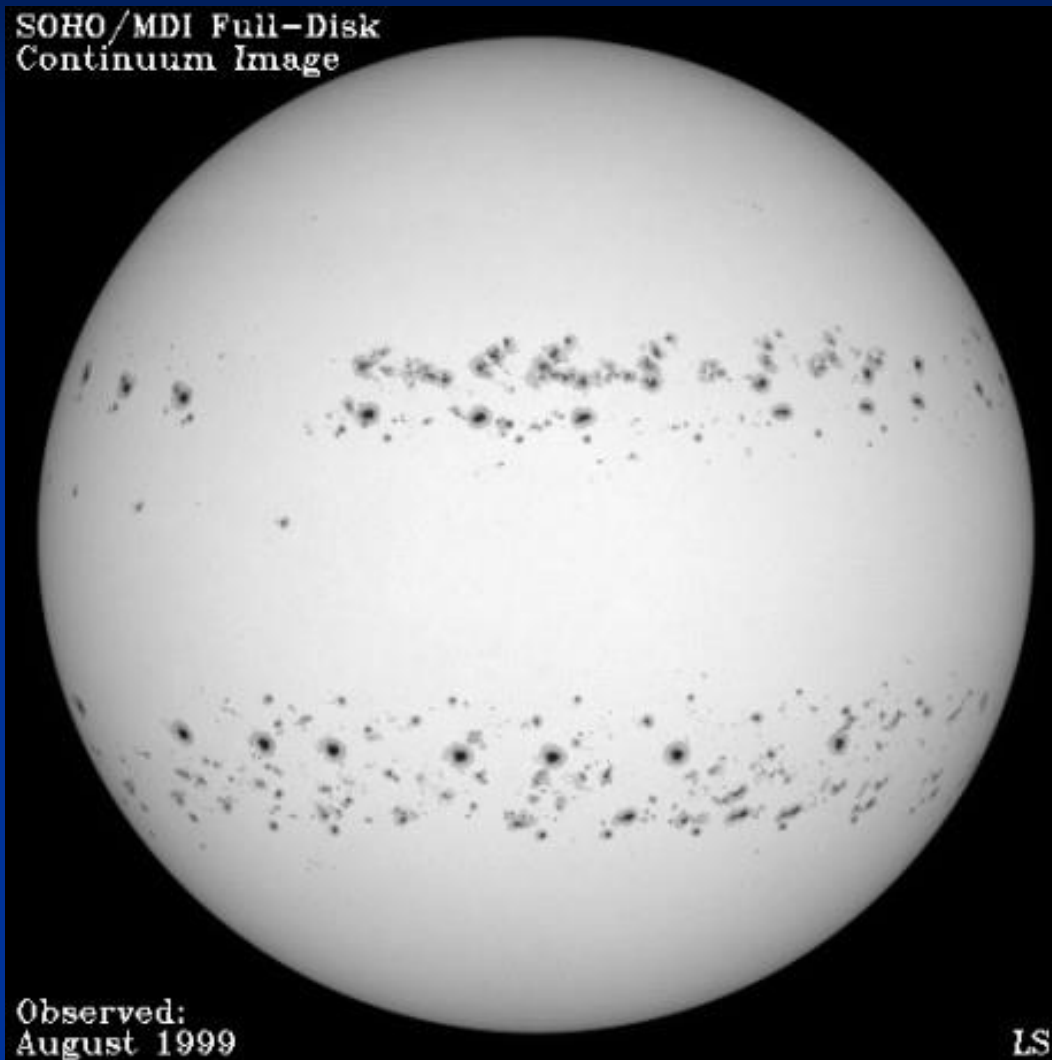
24 de novembro de 1992



Fonte: Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra



Manchas Solares: Rotação Solar



- Servem para medir a rotação solar.
- Galileu, com o seu telescópio, foi o primeiro a observá-las e calculou esse período.
- Rotação diferencial: 25 dias no equador e 34 dias nos polos.

Atividade 4: Determinação do período de rotação do Sol

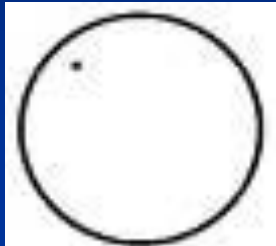
- As observações do Sol devem-se fazer sempre por projeção, com um telescópio ou com binóculos.

Nunca observar diretamente o Sol.

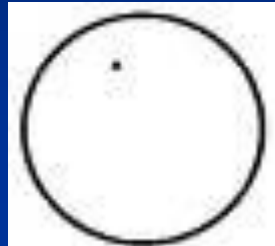


Atividade 4 Determinação do período de rotação do Sol

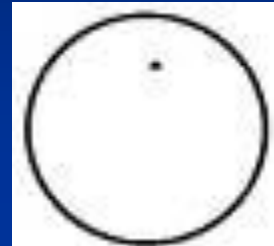
- Fazem-se as marcações das manchas durante vários dias.



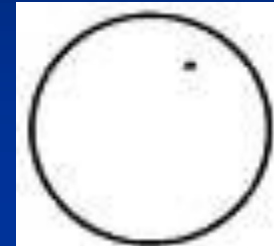
Dia 1



Dia 4

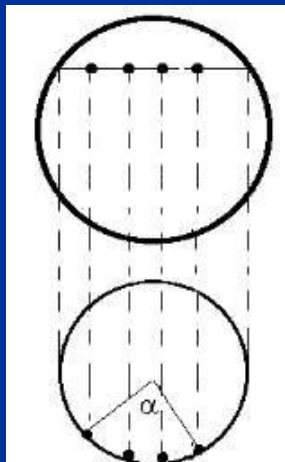


Dia 6

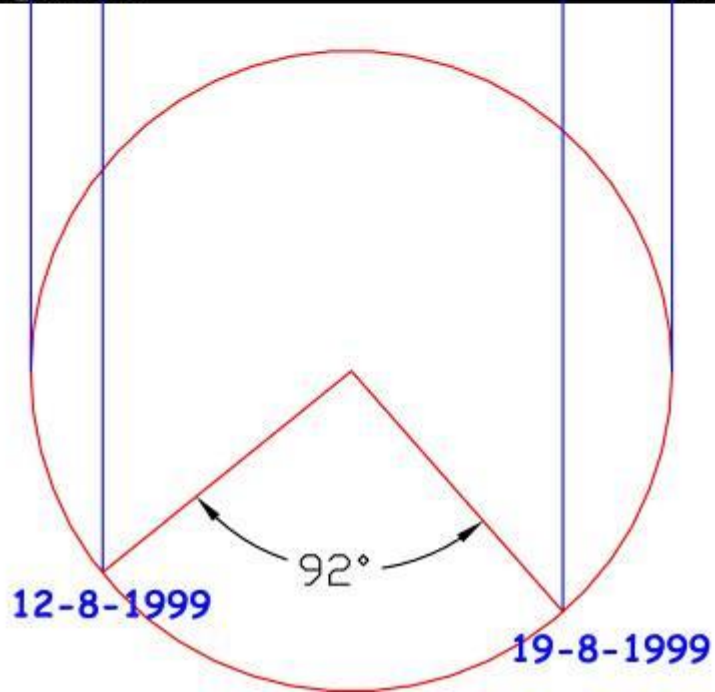


Dia 8

- Sobrepoem-se os pontos assinalados, e faz-se a projeção que permite medir o ângulo α . Depois calcula-se o período P , em dias.



$$\frac{360^\circ}{\alpha^\circ} = \frac{T}{t}$$



Atividade 4: Determinação do período de rotação do Sol

$$T = \frac{360^\circ \times 7 \text{ dias}}{92^\circ} = 27,3 \text{ dias}$$

A Radiação do Sol

- O Sol é um grande reator nuclear. Produz fótons, cada um com uma frequência (cor) e uma energia de
$$E = h \nu$$
- A luminosidade (potência, em watt) do Sol é enorme: a cada segundo emite a mesma energia que bilhões de bombas atômicas.
- Essa energia transmite-se pelo espaço como uma bolha cada vez maior. A área superficial dessa bolha é
$$4 \pi R^2$$
- A uma distância R do Sol, a energia que atravessa em cada segundo 1 m^2 dessa superfície é dada pela equação:

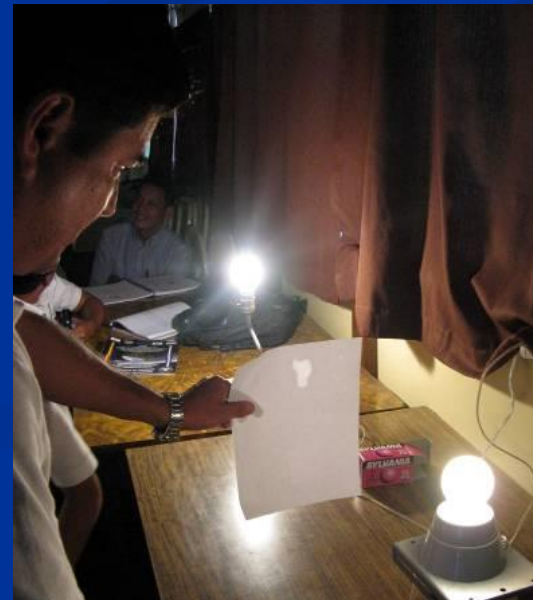
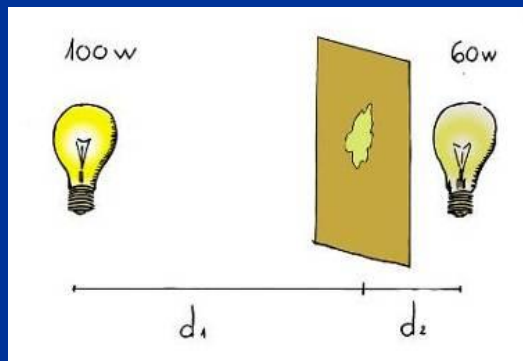
$$\frac{P}{4\pi R^2}$$



Atividade 5: Cálculo da luminosidade do Sol

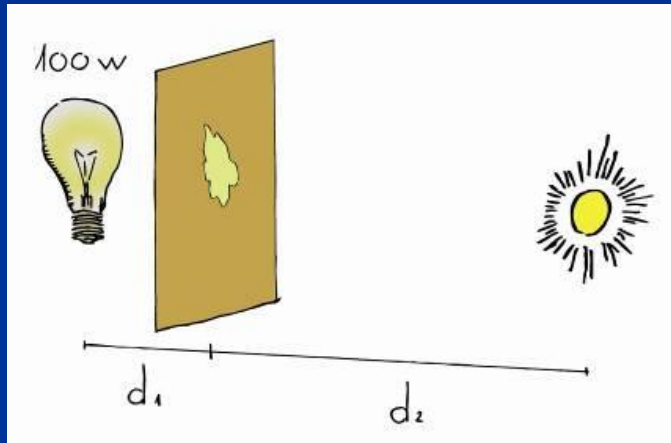
- A energia transmite-se de forma inversamente proporcional ao quadrado da distância. Sabendo a distância ao Sol, podemos calcular a sua potência.
- Criamos um fotômetro com um mancha de óleo. Quando não se vê a mancha, igualou-se a iluminação dos dois lados do papel, o que significa que chega a mesma energia aos dois lados, pelo que se tem:

$$\frac{P_1}{4 \cdot \pi \cdot d_1^2} = \frac{P_2}{4 \cdot \pi \cdot d_2^2}$$



Atividade 5: Cálculo da luminosidade do Sol

Comparamos uma lâmpada de 150 W com o Sol, que está a 150 milhões de km ($1,5 \times 10^{11}$ m), e calculamos P.

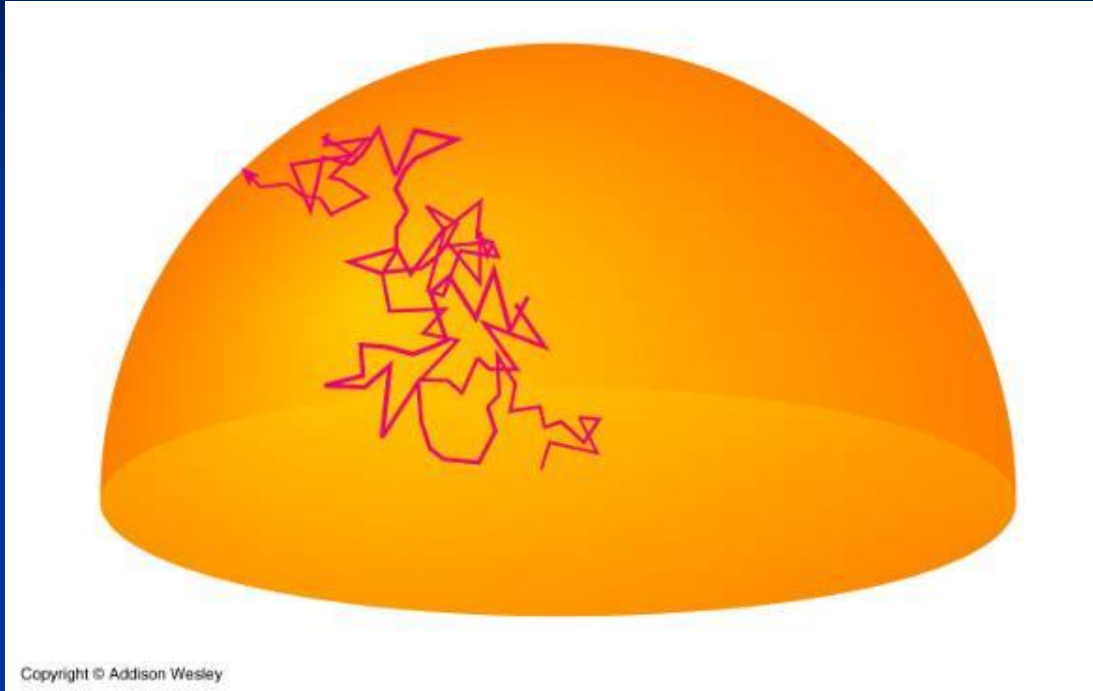


$$\frac{150W}{d_1^2} = \frac{P}{d_2^2}$$



O resultado deverá ser próximo de $3,8 \times 10^{26}$ W

Espetro Solar: Opacidade



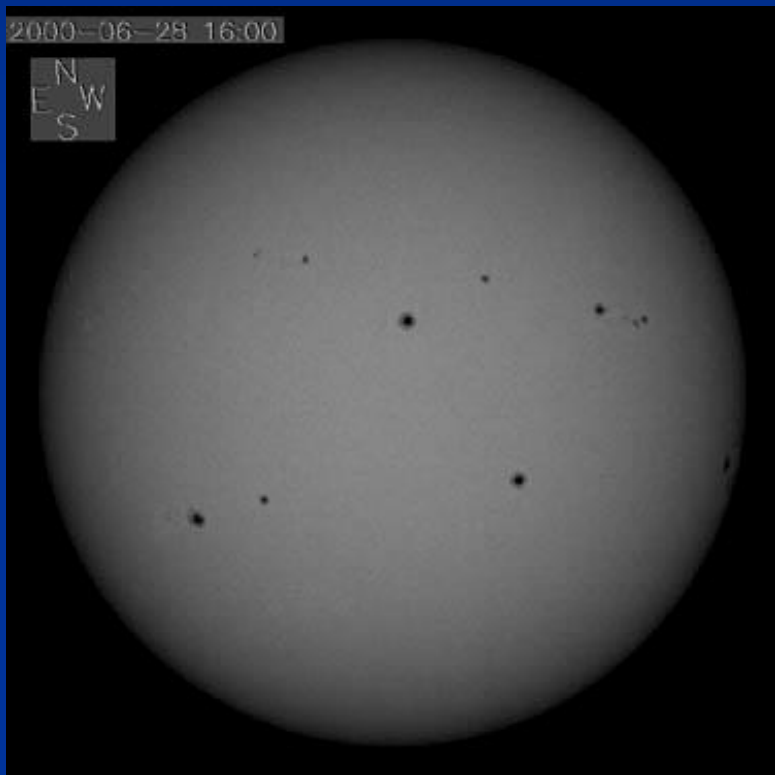
Os fótons são produzidos nas partes mais interiores do Sol, e interagem com a matéria que é muito densa nessa zona. Um fóton produzido no núcleo do Sol pode demorar até 1 milhão de anos a chegar à fotosfera.

Espetro Solar: Opacidade

As partes mais interiores do Sol são opacas (há muitas interações, como num sólido).

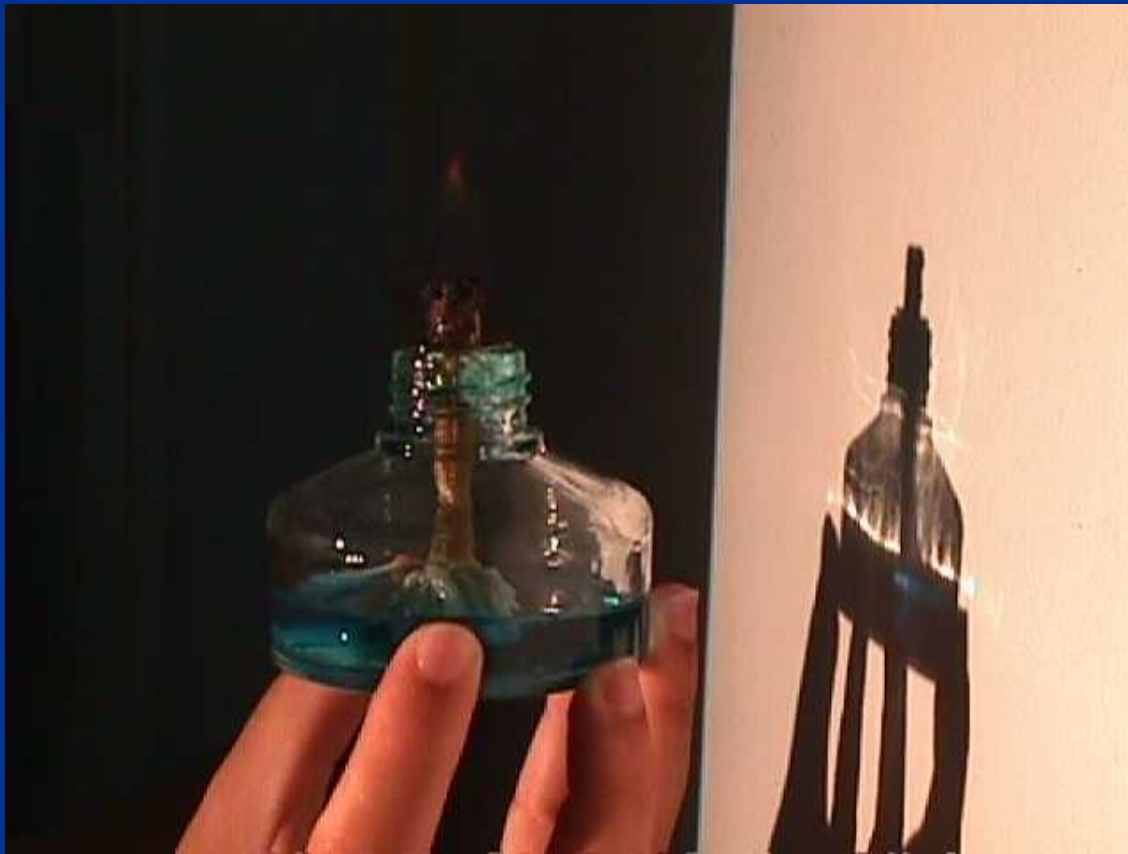
As partes mais exteriores são transparentes.

Evidência: obscurecimento do limbo, no bordo o Sol é menos brilhante porque o percurso ótico na atmosfera é maior.



Atividade 6: Transparência e opacidade

Transparente não é o mesmo que invisível.



Espetros



Fonte: Deutsche Bundespost 1993



Em 1701, Newton usou um prisma e decompôs a luz solar em cores.

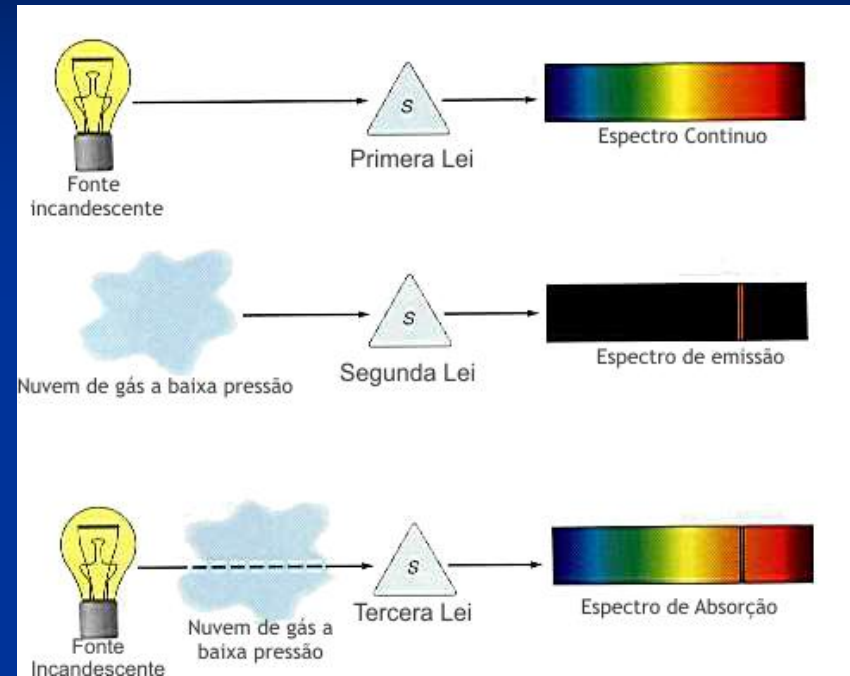
Qualquer luz pode ser decomposta com um prisma ou uma rede de difração. O que se obtém é o seu espectro.

Leis de Kirchhoff e Bunsen

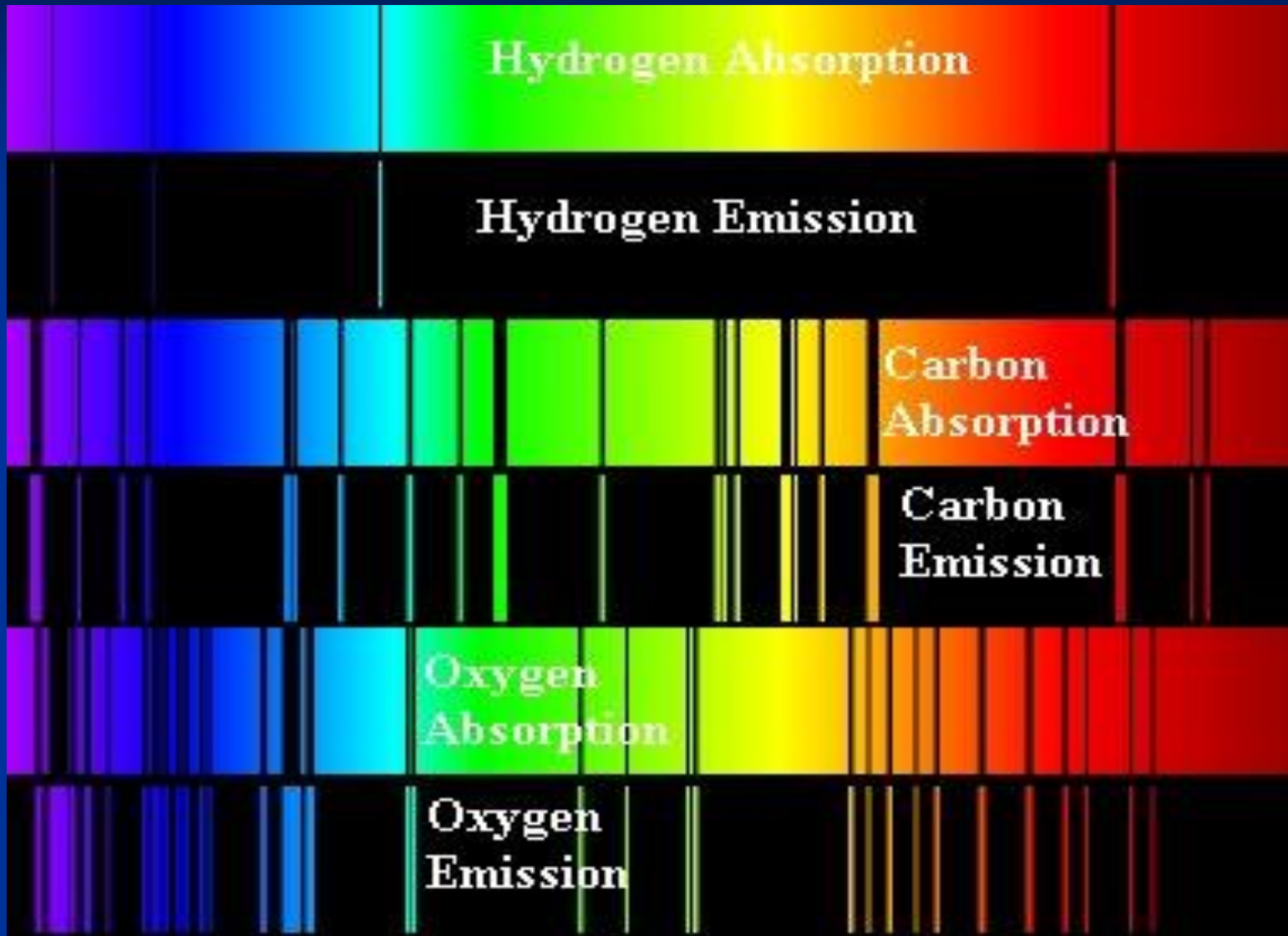
1ª Lei - Um objeto sólido incandescente emite luz com espectro contínuo.

2ª Lei - Um gás rarefeito a alta temperatura produz um espectro de emissão de riscas que dependem da composição química do gás.

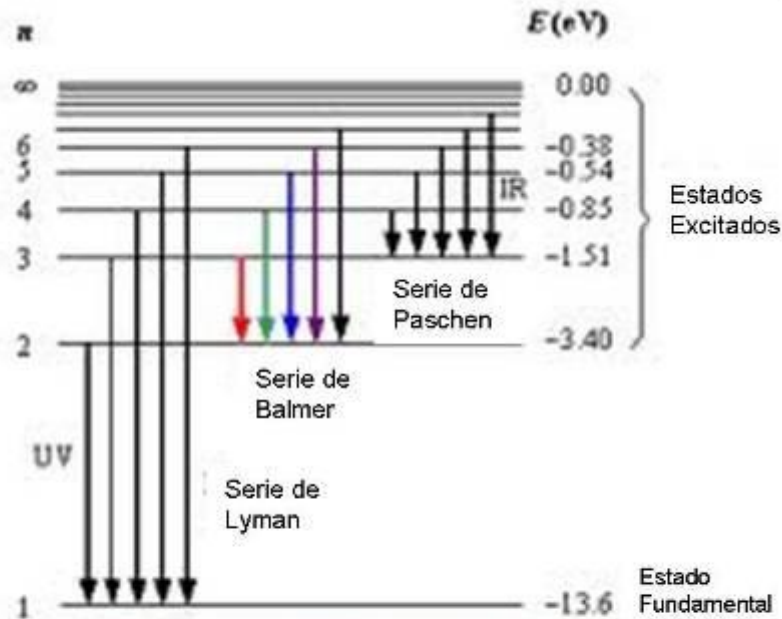
3ª Lei - Um objeto sólido incandescente rodeado por um gás a baixa pressão produz um espectro contínuo com riscas pretas a comprimentos de onda cujas posições coincidem com as da 2ª Lei.



Espetros



Espetros



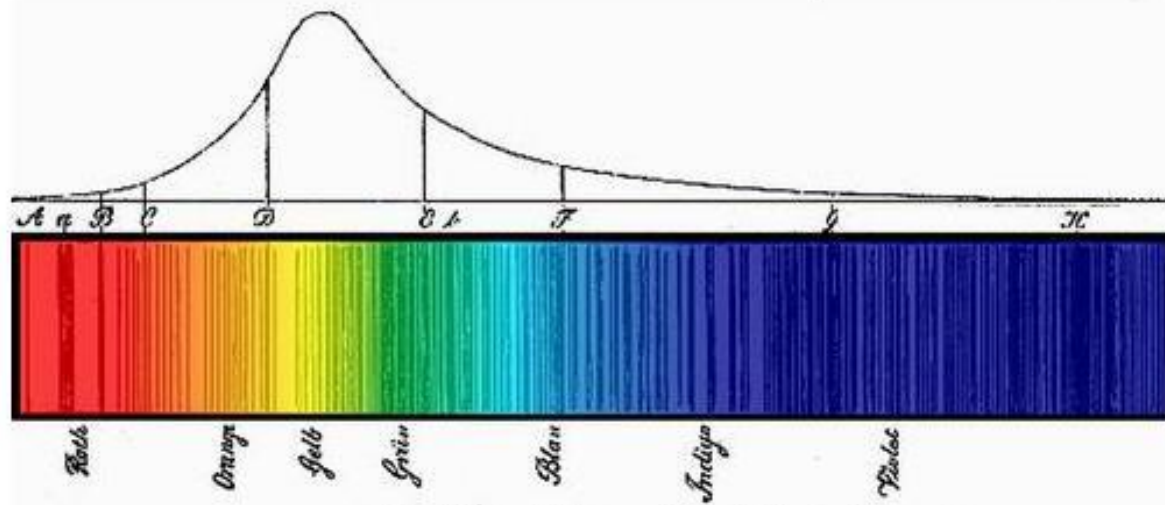
Níveis de energia do átomo de hidrogénio, com algumas transições que produzem as linhas espectrais indicadas.

As linhas de emissão e de absorção são devidas a saltos de eletrões entre dois níveis de energia, que estão quantizados.

Espetro Solar: Espetro de absorção

Em 1802, William Wollaston observou linhas negras no espectro solar.

Em 1814, Joseph Fraunhofer estudou sistematicamente o espectro do Sol e detetou cerca de 700 linhas escuras.

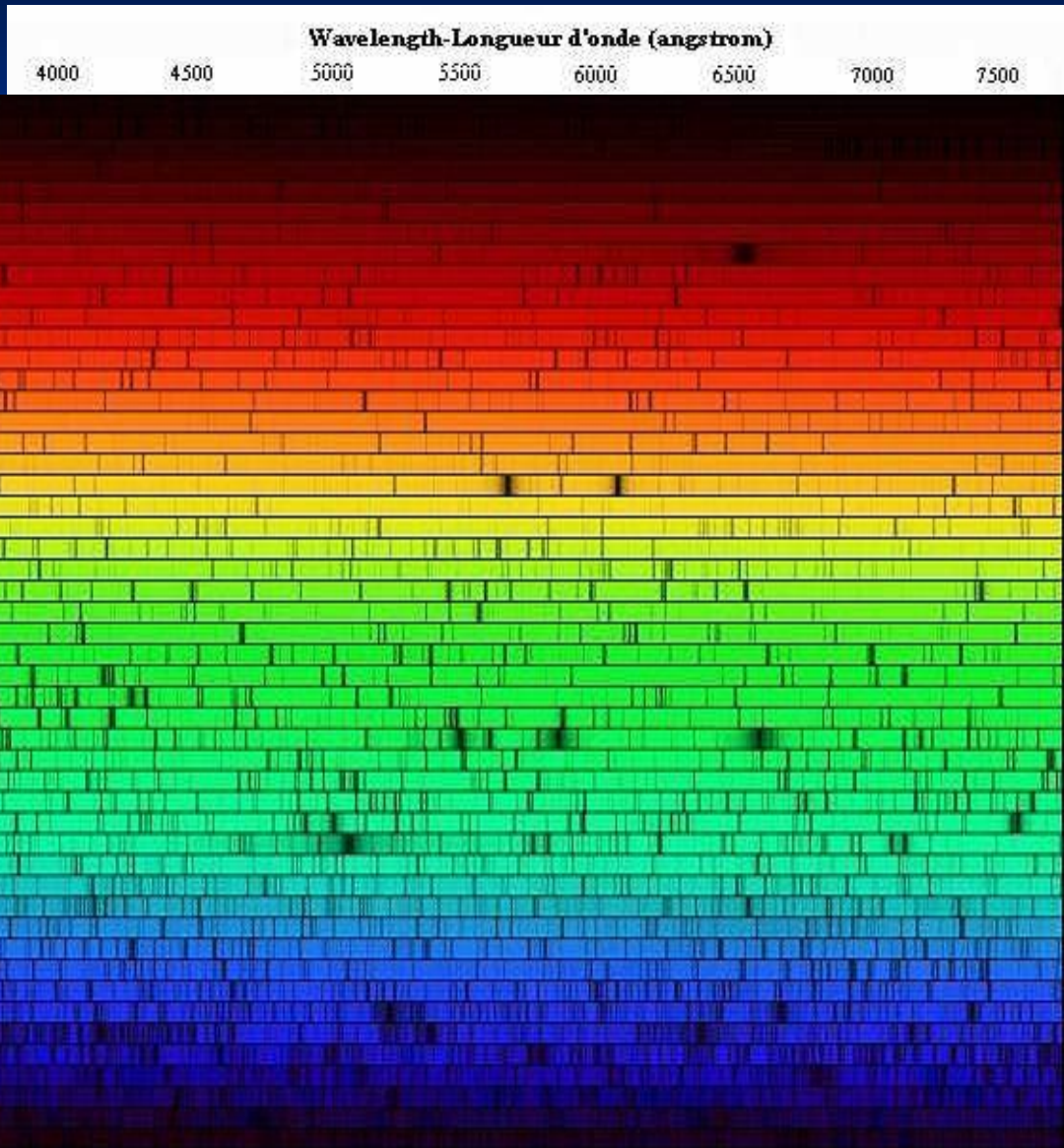


Zu Fraunhofer's Abh. Denkschr. 1814-15.

Joseph Fraunhofer
1787-1826



Espectro Solar: Espectro de absorção



- As linhas escuras são devidas aos gases na atmosfera solar.
- Podemos saber de que é composta a atmosfera do Sol sem necessidade de lá ir.
- Hoje há espectros de alta definição, com muitas mais linhas.



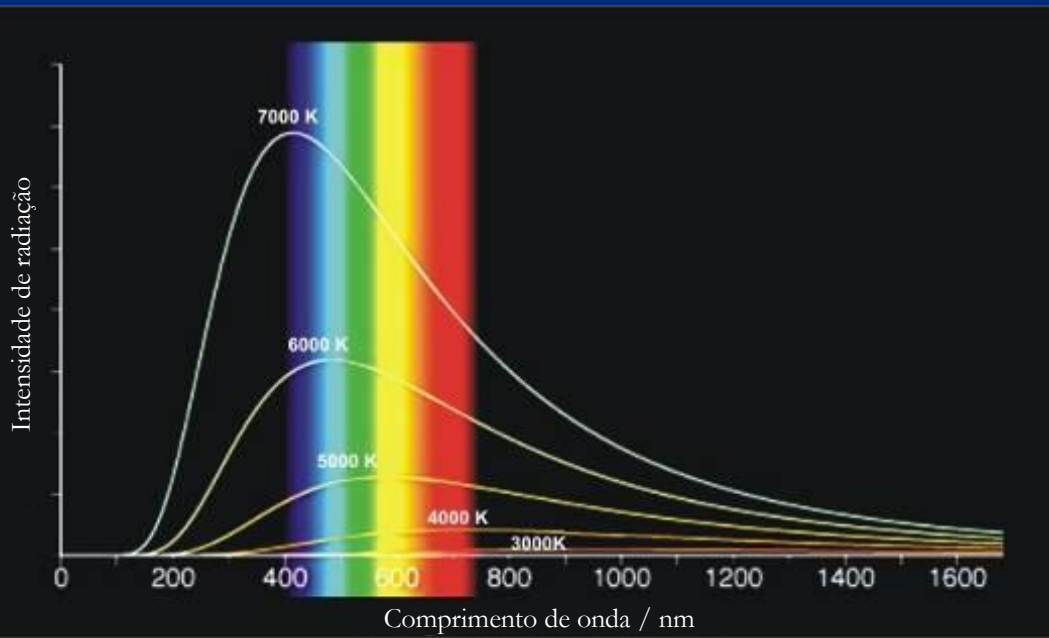
Radiação de corpo negro



Quando um ferro aquece, emite sequencialmente luz:

- Vermelha;
- Amarela;
- Branca (após fundir);
- Azulada.

Radiação de corpo negro



Estudando a radiação de um objeto longínquo, podemos saber a que temperatura está sem necessidade de ir até ele.

Qualquer “corpo negro” emite luz em todos os comprimentos de onda.

Ao ser aquecido, há um $\lambda_{\text{máx}}$ em que a emissão é máxima. Esse $\lambda_{\text{máx}}$ depende da temperatura

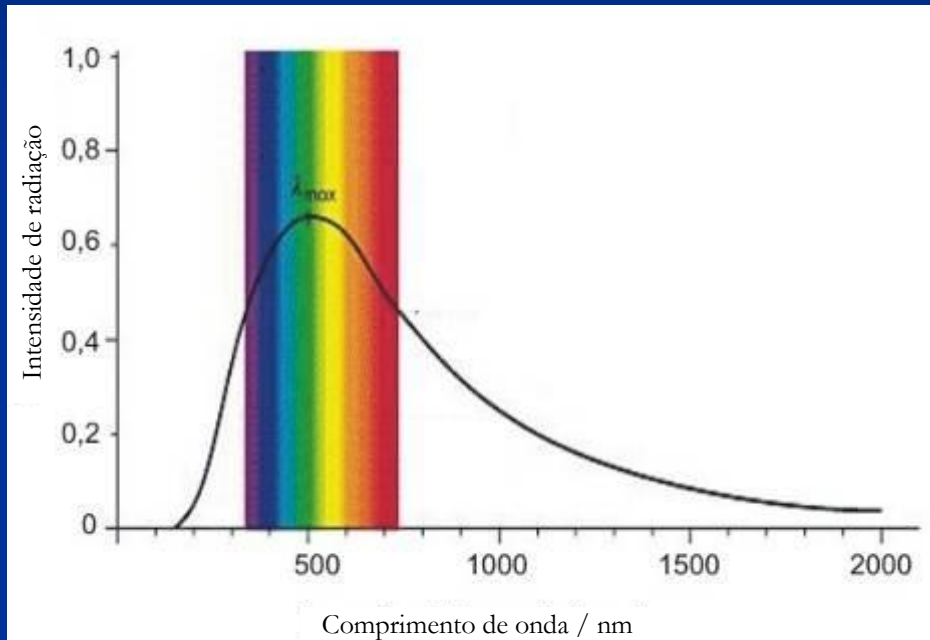
T:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T} \quad (\text{m})$$

Lei de Wien



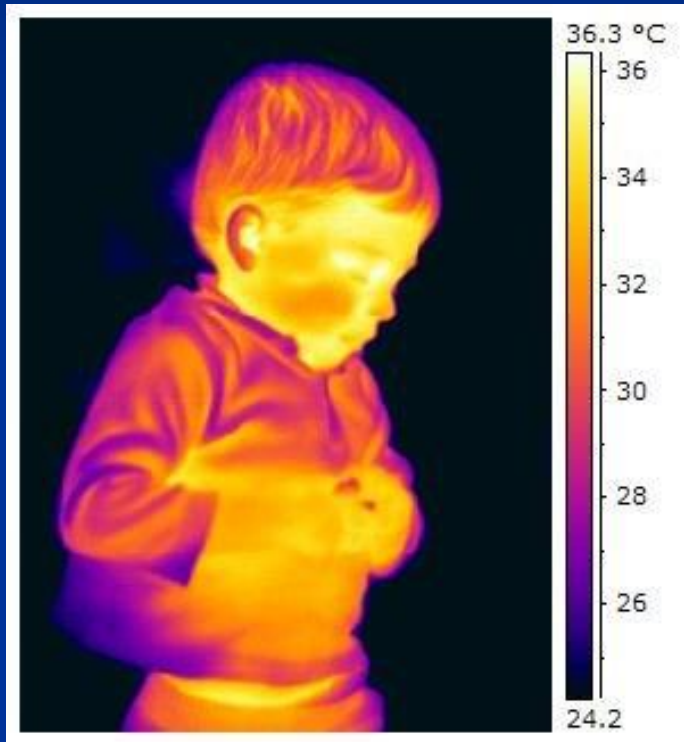
Radiação de corpo negro



O Sol tem um $\lambda_{\text{máx}}$ de 500 nm.

Isso indica que a sua temperatura superficial é 5 800 K.

Radiação de corpo negro



O corpo humano tem uma temperatura de

$$T = 273 + 37 = 310 \text{ K}$$

Emite o máximo de energia a $\lambda_{\text{máx}} = 9\,300 \text{ nm}$.

Os dispositivos de visão noturna usam esses λ .

Dispersão da luz



- Se a luz branca atravessa um gás com partículas grandes, todas as cores são dispersas igualmente ou refletidas (nuvem branca).
- Se as partículas são de dimensão semelhante ao λ de alguns fotões, estes são dispersos e os outros não o são (dispersão de Rayleigh).
- Na atmosfera, os fotões azuis são mais dispersos que os vermelhos, e por isso chegam-nos de todas as direções: vemos o céu azul.

Ao entardecer, a luz atravessa mais atmosfera, e é mais alaranjada.

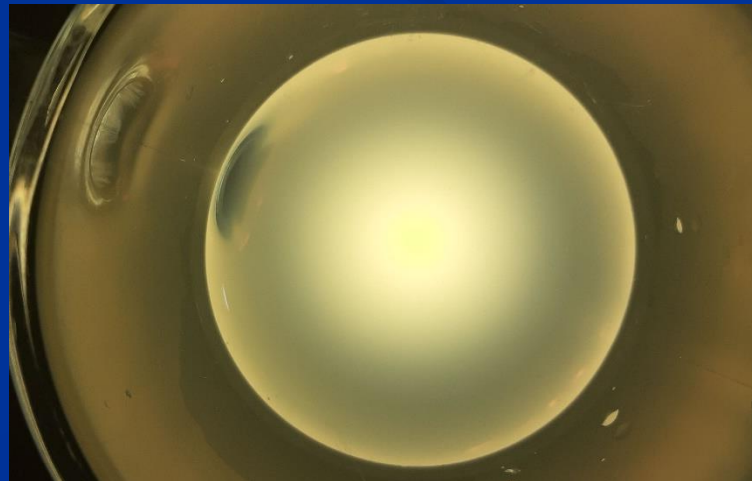


Atividade 7: Dispersão de luz

- Água num copo alto com algumas gotas de leite e uma lanterna. Quando a luz passa pela água leitosa:



- Se a luz passar pelo vidro do copo lateralmente, ela aparecerá azulada.
- Mas se a luz atravessa todo o copo, se olharmos de cima do vidro, a luz fica avermelhada.

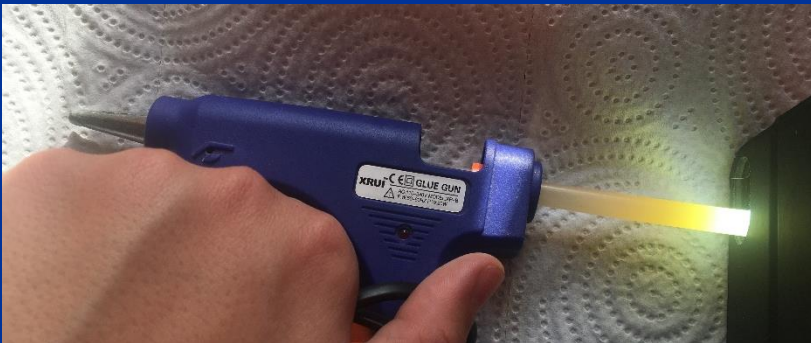


Atividade 7: Dispersão de luz

- Stick de silicone termofusível para usar como pagamento
- A lanterna de um telemóvel.



- A barra perto da luz móvel é de cor azulada.
- Nas zonas mais afastadas da luz do telemóvel, a barra parece amarelada e avermelhada.



Muito obrigado
pela sua atenção!

